Aus dem Röntgeninstitut (Vorstand: Dr. Albert Kohler)
bei der Chirurgischen Klinik der Universität zu München
(Vorstand: Professor Dr. G. Magnus)

Gibt es bei Pendelbestrahlung eine Abhängigkeit zwischen Streuzusatzstrahlung und der Feldlänge?

(Gemessen an der Oberfläche)

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

verfaßt und einer

Hohen Medizinischen Fakultät der Bayerischen
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Josef Häufle
aus Nürnberg

München 1940
Universitäts-Buchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn

Aus dem Röntgeninstitut (Vorstand: Dr. Albert Kohler)
bei der Chirurgischen Klinik der Universität zu München
(Vorstand: Professor Dr. G. Magnus)

Gibt es bei Pendelbestrahlung eine Abhängigkeit zwischen Streuzusatzstrahlung und der Feldlänge?

(Gemessen an der Oberfläche)

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

verfaßt und einer

Hohen Medizinischen Fakultät der Bayerischen
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Josef Häufle
aus Nürnberg

München 1940
Universitäts-Buchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Referent:
Dr. Jaeger

Tag der mündlichen Prüfung:
9. Dezember 1940

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinem lieben Onkel

in Dankbarkeit!

Einleitung.

Eine ausführliche Einleitung zur Frage der Röntgenbestrahlung zu therapeutischen Zwecken will ich mir ersparen, da hierüber in den Arbeiten von *Plodeck* (1) und *Katz* (2) — beide haben auf dem gleichen Gebiet der Pendelbestrahlung gearbeitet — so erschöpfende Darstellungen gebracht wurden, daß ich dazu nichts Wesentliches hinzuzufügen habe.

Die Grundidee sei hier nochmals nur kurz angedeutet. Die Röntgenstrahlen sollen so dosiert und appliziert werden, daß sie das in der Tiefe gelegene Tumorgewebe vernichtend treffen, das gesunde Gewebe der Umgebung und der Haut jedoch möglichst wenig schädigen. Eine natürliche Unterstützung findet diese Absicht in dem Umstand, daß unreife Zellen mit starkem Teilungsvermögen, also die Ca.- und Sa-Zelle, gegen Röntgenstrahlen empfindlicher reagieren, als die gesunde Zelle.

Zur restlosen Lösung dieses Problems sind im Laufe der Zeit von vielen Autoren viele Verfahren angegeben und auch angewandt worden; ich beschränke mich auf die von *A. Kohler* angegebene und seit drei Jahren im Röntgeninstitut der Münchener Chirurgischen Universitätsklinik mit Erfolg angewandte Pendelbestrahlung. Die Beschreibung des nach eigenen Angaben von *A. Kohler* (3) konstruierten Apparates ist in der Monatsschrift für Krebsbekämpfung (Jahrgang 7, 1939) zu finden.

Ueber einen Versuch, die Dosisverteilung im Körper und auf der Oberfläche des Körpers zu ermitteln, gibt die Arbeit von *Du Mesnil de Rochemont* (4) über „die Dosierungsgrundlagen der Rotationsbestrahlung“ (Strahlentherapie 60 : 648) in Form einer Zusammenstellung der notwendigen mathematischen Formeln und Zusammenhänge Aufschluß.

Neben dieser rechnerischen Ermittlung der Dosisverteilung gibt es eine andere Möglichkeit: das Experiment, die Messung am Phantom.

Um ein abschließendes Ergebnis zu erhalten ist es nötig, beide Methoden, sowohl die rein rechnerische als auch die experimentelle heranzuziehen und mit einander zu verbinden. Auf den wichtigsten Nebenfaktor bei der Pendelbestrahlung, nämlich die Streuzusatz-

strahlung möchte ich hier noch mit einer kurzen Erklärung eingehen. *Nakaidzumi* (5) und *Du Mesnil de Rochemont* (6) (Strahlentherapie 66 : 583 und 593) fanden bei ihren Berechnungen, ebenso wie *Bender-Kohler* (7) (Strahlentherapie 67 (Heft 4/1940) : 669) in ihrer neuesten Arbeit, daß bei der Rotations- bezw. Pendelbestrahlung eine zusätzliche Streustrahlung auftritt, die die Oberflächendosis erhöhte und somit das Verhältnis zur Tiefendosis schlechter gestaltete.

Danach versteht man unter Streuzusatzstrahlung eine bei der Pendel- oder Rotationsbestrahlung auftretende Strahlung und zwar an einem Punkt des Körpers, wo sie noch nicht erwartet werden kann, da sich der betreffende Punkt noch gar nicht im Bereich des durch Einstellung begrenzten Strahlenkegels befindet. Eine Erklärung dieser Erscheinung läßt sich darin finden, daß durch seitlich aus dem Strahlenkegel austretende Strahlen Schichten des Körpers bestrahlt werden, die noch nicht direkt im Bereich des Strahlenkegels liegen und dadurch bei einer bestimmten Winkelstellung der wandernden Röhre zu dem Zusatzstrahlung zeigenden Punkt, dieser eine fortgeleitete, zusätzliche, noch nicht erwartete Strahlung erhält. Experimentell läßt sich dies auch nachweisen, wenn man den Punkt P auf den Mittelfahrstrahl (siehe unter 7) S. 682ff.) der bei 90° stehenden Röhre legt, dort ein Meßinstrument für die Dosis der Strahlen anbringt und nun wie bei unserem Fall die Röhre von 0° mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit gegen den Punkt P bewegt. Aus der Größe des eingestellten Feldes läßt sich bei einem bestimmten Fokushautabstand mittels der Formeln von *Du Mesnil de Roehemont* der Winkel berechnen, innerhalb welchen der Punkt P in den Strahlenbereich der sich bewegenden Röhre gelangt. Zeigt jetzt das Meßinstrument vorher eine empfangene Röntgendosis (r) an, so ist damit das Vorhandensein dieser Streuzusatzstrahlung bewiesen. Darüber hinaus läßt sich auch die Größe und durch Ablesen der jeweiligen Röhrenstellung der Zeitpunkt des Auftretens der Streuzusatzstrahlung bestimmen. Auf diese Weise wurden auch von *M. Bender* und *A. Kohler* (7) (Strahlentherapie 67 : 692) bei ihren Versuchen Zusatzstrahlungen bis zu 60 bis 70 r (Röntgeneinheit) nachgewiesen. Da es sich also hier um ganz beträchtliche Dosen handelt, die wohl auch in der Praxis eine Rolle spielen, muß diese Streuzusatzstrahlung berücksichtigt werden und es erscheint von Interesse, ob und in welcher Weise eine Abhängigkeit von den verschiedenen bei der Bestrahlungstherapie in Frage kommenden Faktoren besteht.

Meine Aufgabe ist es nun, diese Streuzusatzstrahlung an der Oberfläche auf ihre Abhängigkeit von der Feldlänge zu untersuchen.

Versuchsanordnung.

Die beiden Phantome, an denen ich meine Messungen zu machen hatte, wurden auf Grund ihrer Ausmaße und ihrer Anpassung an die Verhältnisse am menschlichen Körper dem Bestreben, die Versuche so naturgetreu wie möglich zu gestalten, ziemlich gerecht. Das Oberschenkelphantom war aus dünnen Sperrholzwänden mit Reiskörnern ausgefüllt, das Beckenphantom aus Paraffin gegossen. Beide Medien, Reis und Paraffin weisen strahlenmäßig ähnliche Verhältnisse auf wie Wasser, aus dem ja zu 75—80% der menschliche Muskel besteht. Die Ausmaße der beiden Phantome sind aus beiliegenden Zeichnungen (Abbildung 1 und 2) zu ersehen.

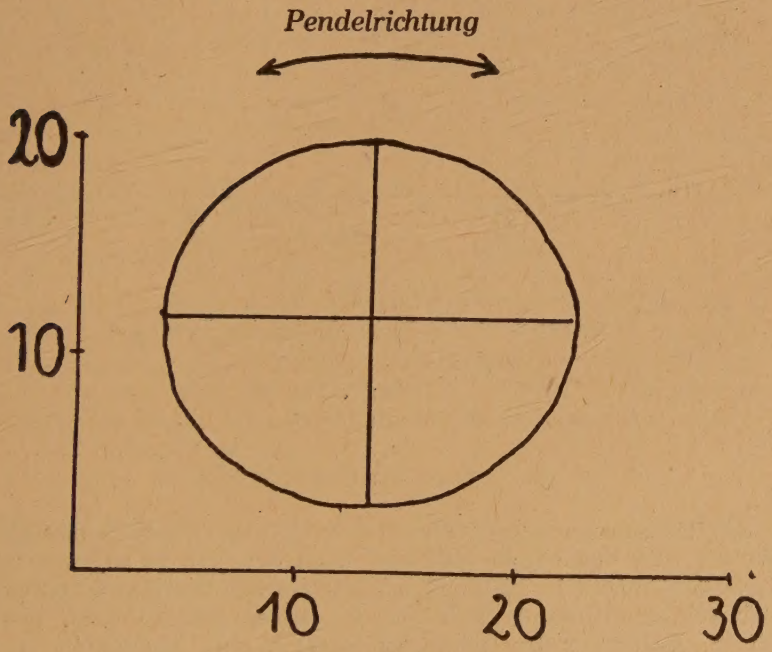

Abbildung 1.

Schnitt durch ein Oberschenkelphantom aus Holzwänden mit Reiskörnerfüllung

Ausmaße: Breite: 19 cm
Höhe: 17 cm
Länge: 20,5 cm

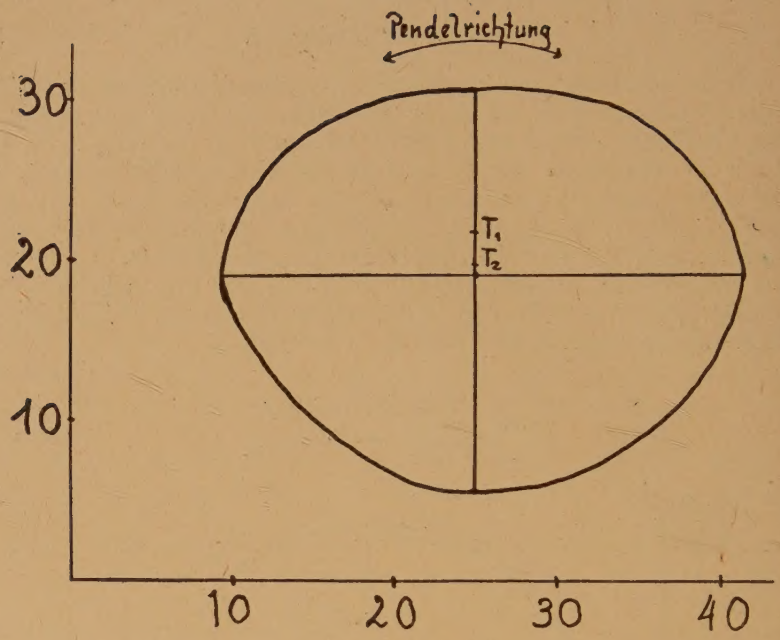

Abbildung 2

Schnitt durch das Beckenphantom aus Paraffin

Ausmaße: Breite: 32 cm
Höhe: 25,5 cm
Länge: 13,5 cm
T_1: Pendeltiefe in 9 cm
T_2: Pendeltiefe in 11 cm

Als Röntgenapparat dient eine Stabilivoltanlage der Siemens-Reiniger Werke. Die Pendeltiefe läßt sich nach der jeweils angenommenen Tiefe des Tumors im Phantom am *Kohler*schen Pendelgerät einstellen. Der Fokushautabstand blieb bei den Messungen konstant, nämlich 60 cm. Unterhalb der Röhre befand sich eine Lichtquelle (Tubuslicht) mit der Aufgabe mittels vier Blenden das Bestrahlungsfeld auf dem Phantom einstellen zu lassen.

Ueber die Pendelung selbst sei kurz folgendes Wichtige gesagt. Mittels einer sinnreichen Apparatur bewegt sich die Röntgenröhre von 0° bis 180° oder umgekehrt, wobei sie um das Phantom einen Kreisbogen beschreibt, dessen Radius jeweils dem Abstand zwischen

Fokus und dem angenommenen Drehpunkt entsprach, der sich nach der Lage des Tumors richtet. Der jeweilige Winkel, den das Pendelgerät während der Messungen mit der Waagrechten bildete, ließ sich an einer Winkelscheibe von 0°—360° mit Hilfe eines Lotes ablesen. Die Zeit in der sich die Röntgenröhre von 0°—180° oder umgekehrt bewegt betrug 27 Minuten.

Als Meßinstrument diente das *Hammer*sche Röntgendosimeter der Physikalisch-technischen Werkstätten in Freiburg i. B. (8). Innerhalb des Meßgerätes wurde durch die Röntgenstrahlen ein elektrischer Stromstoß erzeugt, welcher sich in einem laut hörbaren Knacken äußerte. Daß jeder Stromstoß als kleinste meßbare Dosis nur 5 r anzeigt, ist für die Genauigkeit der Messungen von Nachteil, da bei kleineren Feldern, mit denen ich großenteils zu arbeiten hatte, kleinere Dosiswerte unter 5 r nicht angezeigt wurden. Voraussetzung, diese Ungenauigkeit einigermaßen wett zu machen, war eine völlige Entladung des Dosimeters von eventuell noch gespeicherten r-Dosen vor Beginn jeder Messung. Um am Schluß der einzelnen Messungen die noch im Dosimeter verbliebenen Dosen, die die Ausschlagdosis von 5 r nicht erreichten, für die Versuche zu ermitteln, habe ich mir folgendermaßen geholfen. Ich lud das Dosimeter bis zum nächsten Knacken (5 r) auf und ermittelte die Zeit dafür mit der Stoppuhr. Durch die Beziehung $\frac{\text{gestoppte Zeit}}{60}$ r/Min. Zufluß konnte ich so die direkt nicht meßbaren r-Werte errechnen.

Aus der Breite des Dosimeters von 18 mm ergab sich ein Anlaß zu Fehlern. Rechnerische Vorschläge zur Ausschaltung dieser Fehlerquelle wurden von *Katz* (2) und *Weber* (9) angegeben. Ich habe in dieser Meßserie von diesen Vorschlägen keinen Gebrauch gemacht.

Versuchsbedingungen!

1. Feldgröße:	2/5 2/15.
2. Abstände:	Oberschenkel: Fokus-Haut 60 cm Fokus-Pendelzentrum 69 cm. Becken: Fokus-Haut 60 cm Fokus-Pendelzentrum 69 cm bzw. 71 cm.
3. Pendelwinkel:	1·0°. Gesamtumlaufzeit für eine Pendelung 27 Min.

4. Strahlung: kV = 190
mA = 15
HWS = 1,25 mm Cu.

Die Strahlung wurde durch ein 0,75 mm dickes Cu-Filter gefiltert. Die Breite des Feldes war konstant 2 cm, die Länge wechselte an beiden Phantomen zwischen 5 cm und 15 cm.

I. Der r/Min.-Zufluß wurde sowohl für das Feld 2/5 cm wie auch für das 2/15 cm bestimmt und zwar wurde mittels Stoppuhr bei senkrechter Röhre die Zeit zwischen den Anschlägen von je 5 r bestimmt. Sie betrug 13,0 Sek. Eine Kontrollmessung über 3 Min. 15 Sek. ergab 75 r. Beide Ergebnisse zeigten in der Ausrechnung somit

Uebereinstimmung nämlich 23,3 r/Min. für 2/5 cm,
entsprechend 24,8 r/Min. für 2/15 cm.

II. Die Bestrahlungszeit — diejenige Zeit, während welcher ein Punkt P der Oberfläche bei einer bestimmten Umlaufzeit auf der der Röhre zugewandten Seite im Strahlenbereich (ausgedrückt durch den Winkel 2γ) sich befindet, wurde nach Angaben von *Du Mesnil de Rochemont* berechnet (s. Abb. 3).

Für den halben Oeffnungswinkel α kann man die Tangensfunktion praktisch der Sinusfunktion gleichsetzen.

$$\gamma = \delta - \alpha$$

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{f}{2}}{FH}$$

$$\sin \delta = \frac{FM \sin \alpha}{R}$$

α = halber Oeffnungswinkel des Strahlenkegels.
r = Radius des kreisförmig angenommenen Tumors,
F = Fokus,
M = Pendelzentrum,
H = Hautoberfläche,
R = Abstand zwischen Pendelzentrum und Hautoberfläche,
$A_1 A_2 = f$ = Feldbreite.

Die Bestrahlungszeit läßt sich bei der Bestrahlung über den Winkel von 180° folgendermaßen ermitteln:

$$180 : \text{Umlaufzeit (27 Min.)} = \gamma : x;$$

$$x = \frac{27 \cdot \gamma}{180}$$

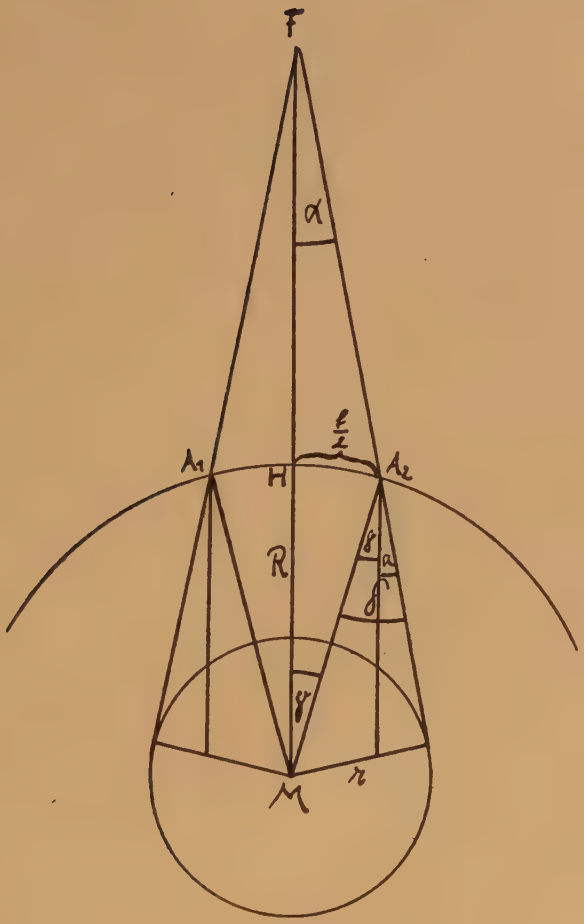

Abbildung 3

Zeichnung zur Veranschaulichung der zur Berechnung des Winkels γ (siehe Text) nötigen Größen

Bekannt sind:

$$\frac{2}{f} = 1 \text{ cm}$$

$$R = 9 \text{ cm bezw. } 11 \text{ cm}$$

$$FM = 69 \text{ cm bezw. } 71 \text{ cm}$$

III. Die Oberflächendosis erhält man durch Multiplikation des jeweiligen r/Min.-Zuflusses mit der entsprechenden Bestrahlungszeit.

Diese errechneten Oberflächendosen haben natürlich nur bei Kreiszylindern Anspruch auf absolute Genauigkeit. Bei unserem Oberschenkelphantom ist das fast der Fall und ich habe nur geringe Abweichungen der errechneten von den ermessenen Ergebnissen feststellen können. Anders beim Becken. Bei der elliptischen Gestalt des Phantoms, wobei R nach der Seite hin zunimmt, ändert sich das Verhältnis $\frac{\sin \alpha \, FM}{R}$ und dadurch werden die Oberflächendosiswerte nach der Seite zu geringer.

Versuchsergebnisse.

I. Am Oberschenkelphantom:

Für jede Feldlänge wurden 2 Pendelungen gemacht. Eine von 180°—0° und eine zur Kontrolle von 0°—180°. In keinem Falle haben sich die jeweiligen Gesamtergebnisse der Oberflächendosen außerhalb der Fehlergrenze, die mit 5 r sicherlich nicht zu hoch ist, bewegt.

Folgende Werte bleiben für alle Felder konstant.

Strahlung: Kv = 190,
mA = 15,
HWS = 1,25 mm Cu.
Fokus-Haut = 60 cm,
Fokus-Pendelzentrum = 69 cm,
Pendelwinkel = 180°,
Gesamtumlaufszeit = 27 Min.,
Feldbreite = 2 cm,
Feldlänge = 5 bzw. 15 cm.

1. Feld: 2/5 cm = 10 cm^2
r/Min.-Zufluß 23,3.
Bestrahlungszeit eines Punktes an der Oberfläche = 1,89 Min.
Berechnete Oberflächendosis (23,3 × 1,89) = 43,9 ≃ 44 r.
Winkel γ = 6° 20 Min.; 2 γ = 12° 40 Min.

Bei einem Gesamtzufluß von 60 r blieb nach Abzug der errechneten, sagen wir erlaubten Oberflächendosis eine Streuzusatzstrahlung von 16 r. Im Versuch erhielt ich innerhalb des erlaubten Winkels zwischen 96° 20 Min. und 83° 40 Min. 45 r und somit eine etwas geringere Streuzusatzstrahlung von 15 r.

Bei den errechneten Werten drückt sich die Streuzusatzstrahlung in Beziehung zur Oberflächendosis prozentual folgendermaßen aus:

im Verhältnis zur errechneten Oberflächendosis 36%,
„ „ „ ermessenen „ „ 27%.

2. Feld: 2/15 cm = 30 cm²
r/Min.-Zufluß: 24,8.
Bestrahlungszeit eines Punktes an der Oberfläche = 1,89 Min.
Berechnete Oberflächendosis (24,8 × 1,89) = 47 r.
Winkel $\gamma = 6^0$ 20 Min.; $2\gamma = 12^0$ 40 Min.

Bei einem Gesamtzufluß von 75 r blieb nach Abzug der errechneten Oberflächendosis eine Streuzusatzstrahlung von 28 r.

Im Versuch erhielt ich innerhalb des erlaubten Winkels zwischen 96^0 20 Min. und 83^0 40 Min. 50 r und somit eine etwas geringere Streuzusatzstrahlung, nämlich 25 r.

Prozentuale Beziehung der Streuzusatzstrahlung zur Oberflächendosis:

Im Verhältnis zur errechneten Oberflächendosis: 59%,
„ „ „ ermessenen „ „ : 37%.

Tabelle I.

Feldlänge	5 cm	15 cm
Errechnete Oberflächendosis	44 r	47 r
Ermessene Oberflächendosis	60 r	75 r
Streuzusatzstrahlung	16 r	28 r
Streuzusatzstrahlung (in % der errechneten Oberflächendosis) . . .	36 %	59 %
Streuzusatzstrahlung (in % der ermessenen Oberflächendosis) . . .	27 %	37 %

Die Versuchsergebnisse sind in Tab. I übersichtlich zusammengestellt. Die beiden Längsspalten geben eine Gegenüberstellung der Ergebnisse bei der Feldlänge 5 cm und der Feldlänge 15 cm. Bei beiden Längen zeigt sich, daß die ermessene Oberflächendosis ziemlich hoch über der errechneten Oberflächendosis liegt. Hiemit ist die Beobachtung von *Nakaidzumi* und von *Kohler-Bender* bestätigt, wonach die errechnete Oberflächendosis durch eine Streuzusatzstrahlung erhöht wird. Die absolute Streuzusatzstrahlung nimmt mit der Feldlänge zu. Prozentual der errechneten Oberflächendosis sehen

wir bei der größeren Feldlänge eine Zunahme von 64%. In der letzten Reihe ist die Streuzusatzstrahlung in Prozent der gemessenen Oberflächendosis gegeben, jedoch halte ich diese Werte in Anbetracht der oben erwähnten Unzulänglichkeit des Dosimeters für ungenau.

Bemerk. *F. Katz* (2) fand bei dem Feld 2/10 cm und der Pendeltiefe von 9 cm am selben Oberschenkelphantom eine prozentuale Streuzusatzstrahlung an der Oberfläche von 48%, was sich gut in meine Ergebnisse einfügt.

II. Am Beckenphantom.

Im Gegensatz zu den Versuchen am Oberschenkelphantom wurden am Beckenphantom für die beiden Felder von 2/5 cm und 2/15 cm in verschiedener Pendeltiefe und zwar in 9 cm und 11 cm gemessen. Es wurde für jede Feldlänge in den verschiedenen Tiefen 2 Pendelungen ausgeführt, eine von $180^0 - 0^0$ und eine zur Kontrolle von $0^0 - 180^0$.

Bei den Versuchen am Beckenphantom war die Versuchsanordnung mit Ausnahme der Pendeltiefe, die hier 9 cm bezw. 11 cm betrug, dieselbe wie bei den Versuchen am Oberschenkelphantom.

1. Feld: 2/5 cm = 10 cm^2
R = 9 cm; FM = 69 cm
r/Min.-Zufluß 23,3
Bestrahlungszeit eines Punktes an der Oberfläche = 1,89 Min.
Berechnete Oberflächendosis 44 r.
Winkel $\gamma = 6^0$ 20 Min; $2\gamma = 12^0$ 40 Min.

Bei einem Gesamtzufluß von 60 r blieb nach Abzug der errechneten Oberflächendosis eine Streuzusatzstrahlung von 16 r.

Im Versuch erhielt ich innerhalb des erlaubten Winkels zwischen 96^0 20 Min und 83^0 40 Min 43 r, und somit eine etwas größere Streuzusatzstrahlung von 17 r.

Prozentuale Beziehung der Streuzusatzstrahlung zur Oberflächendosis:

im Verhältnis zur errechneten Oberflächendosis 36%
" " " ermessenen " 27%.

Ich finde also bei dem kleinen Feld 2/5 und der gleichen Pendeltiefe, wie bei dem Versuch am Oberschenkelphantom an der Oberfläche des Beckenphantoms die gleiche prozentuale Streuzusatzstrahlung, wie an der Oberfläche des Oberschenkelphantoms.

2. Feld: 2/15 cm = 30 cm²
R = 9 cm; FM = 69 cm
r/Min.-Zufluß 24,8.
Bestrahlungszeit eines Punktes an der Oberfläche = 1,89 Min.
Berechnete Oberflächendosis 47 r.
$\gamma = 6^0$ 20 Min; $2\gamma = 12^0$ 40 Min.

Bei einem Gesamtzufluß von 75 r blieb nach Abzug der errechneten Oberflächendosis eine Streuzusatzstrahlung von 28 r.

Im Versuch erhielt ich innerhalb des erlaubten Winkels zwischen 96^0 20 Min und 83^0 40 Min 45 r und somit eine etwas größere Streuzusatzstrahlung von 30 r.

Prozentuale Beziehung der Streuzusatzstrahlung zur Oberflächendosis:
im Verhältnis zur errechneten Oberflächendosis 59%
„ „ „ ermessenen „ 37%.

Ich finde also auch bei dem Feld 2/15 und der gleichen Pendeltiefe wie bei den Versuchen am Oberschenkelphantom an der Oberfläche des Beckenphantoms die gleiche prozentuale Streuzusatzstrahlung, wie an der Oberfläche des Oberschenkelphantoms.

3. Feld: 2/5 cm = 10 cm²
R = 11 cm; FM = 71 cm
r/Min.-Zufluß 23,3.
Bestrahlungszeit eines Punktes an der Oberfläche = 1,55 Min.
Berechnete Oberflächendosis 36 r.
$\gamma = 5^0$ 10 Min; $2\gamma = 10^0$ 20 Min.

Bei einem Gesamtzufluß von 50 r blieb nach Abzug der errechneten Oberflächendosis eine Streuzusatzstrahlung von 14 r.

Im Versuch erhielt ich innerhalb des erlaubten Winkels zwischen 95^0 10 Min und 84^0 50 Min 35 r und somit eine etwas größere Streuzusatzstrahlung von 15 r.

Prozentuale Beziehung der Streuzusatzstrahlung zur Oberflächendosis:
im Verhältnis zur errechneten Oberflächendosis 39%
„ „ „ ermessenen „ 28%.

Ich finde also bei ansteigender Pendeltiefe, sowohl auf die errechneten als auch auf die ermessenen Oberflächendosiswerte bezogen, eine prozentuale Zunahme der Streuzusatzwerte.

4. Feld: 2/15 cm = 30 cm².
R = 11 cm; FM = 71 cm,
r/Min.-Zufluß 24.8.
Bestrahlungszeit eines Punktes an der Oberfläche = 1,55 Min.
Berechnete Oberflächendosis 39 r.
$\gamma = 5^0$ 10 Min.; $2\gamma = 10^0$ 20 Min.

Bei einem Gesamtzufluß von 64 r blieb nach Abzug der errechneten Oberflächendosis eine Streuzusatzstrahlung von 25 r.

Im Versuch erhielt ich innerhalb des erlaubten Winkels zwischen 95° 10 Min. und 84° 50 Min. 40 r, und somit eine etwas geringere Streuzusatzstrahlung von 24 r.

Prozentuale Beziehung der Streuzusatzstrahlung zur Oberflächendosis:

Im Verhältnis zur errechneten Oberflächendosis 64%,
„ „ „ ermessenen „ „ 39%.

Ich finde also auch hier bei der Zunahme der Pendeltiefe, auf die errechneten bzw. ermessenen Oberflächendosiswerte bezogen, eine prozentuale Zunahme der Streuzusatzwerte und befinde mich damit im Einklang mit *H. Spengler* (10), der in seiner Arbeit „Abhängigkeit der Streuzusatzstrahlung von der Pendeltiefe, gemessen an der Oberfläche" ein Ansteigen der prozentualen Streuzusatzwerte mit zunehmender Pendeltiefe feststellt.

Tabelle II.

Feldlänge	5 cm	5 cm	15 cm	15 cm
Pendeltiefe	9 cm	11 cm	9 cm	11 cm
Errechnete Oberflächendosis	44 r	36 r	47 r	39 r
Ermessene Oberflächendosis	60 r	50 r	75 r	64 r
Streuzusatzstrahlung	16 r	14 r	28 r	25 r
Streuzusatzstrahlung (in % der errechneten Oberflächendosis)	36 %	39 %	59 %	64 %
Streuzusatzstrahlung (in % der ermessenen Oberflächendosis	27 %	28 %	37 %	39 %

Im Gegensatz zur Tab. I, der die übrige Anordnung entspricht, wurde hier noch eine Unterteilung der beiden Feldlängen in die verschiedenen Pendeltiefen von 9 cm und 11 cm vorgenommen.

Wie bei den Ergebnissen am Oberschenkelphantom liegen auch hier die gemessenen Oberflächendosen über dem errechneten.

Interessant ist die Feststellung, daß bei den Versuchen, die mit den gleichen Feldern und der gleichen Pendeltiefe wie am Oberschenkelphantom vorgenommen wurden, an der Oberfläche des Beckenphantoms fast die gleiche prozentuale Streuzusatzstrahlung wie an der Oberfläche des Oberschenkelphantoms gefunden wurde.

Es wurde also bei einer so geringen Breite der Felder — in allen Fällen 2 cm — gefunden, daß die Form unserer beiden Phantome

bei den gewählten Versuchsbedingungen keinen nennenswerten Einfluß auf die Streuzusatzstrahlung ausübt.

Wie auch aus diesen Ergebnissen am Beckenphantom hervorgeht, nimmt die Streuzusatzstrahlung mit der Feldlänge zu, prozentual zur errechneten Oberflächendosis sehen wir bei der größeren Feldlänge, sowohl in 9 cm, wie in 11 cm Pendeltiefe eine Zunahme von 64%, während die absolute Streuzusatzstrahlung bei der größeren Pendeltiefe eine geringe Abnahme erfährt.

Zusammenfassung und Schluß.

In der hiermit abschließenden Arbeit sollte untersucht werden, ob bei Pendelbestrahlung die zusätzliche Streustrahlung an der Oberfläche in einer Abhängigkeit zur Feldlänge steht.

1. Es besteht tatsächlich eine Abhängigkeit der Streuzusatzstrahlung von der Feldlänge und zwar in dem Sinne, daß die größere Feldlänge die größere prozentuale Streuzusatzstrahlung hervorrief. Während beim dreimal so langem Feld (2/15) die absolute Streuzusatzstrahlung im Vergleich zum kleinen Feld (2 5) eine Steigerung von 75% (vgl. 16 r und 28 r Tab. II) erfährt, nimmt die prozentuale Streuzusatzstrahlung bei der größeren Feldlänge um 64% zu.

2. Die Beobachtungen von *Nakaidzumi* und von *Kohler-Bender* für Pendelbestrahlung über das Auftreten einer zusätzlichen Streustrahlung wurde bestätigt.

3. Bei den vorliegenden Versuchsbedingungen wurde gefunden, daß die Form unserer Phantome keinen nennenswerten Einfluß auf die Streuzusatzstrahlung ausübt.

4. Bei Zunahme der Pendeltiefe konnte eine geringe Abnahme der absoluten Streuzusatzstrahlung, dagegen eine geringe Zunahme der prozentualen Streuzusatzstrahlung festgestellt werden.

Zum Schluß danke ich Herrn Oberarzt *Dr. A. Kohler* für die freundliche Überlassnng der Doktorarbeit und Fräulein *Dr. M. Bender* für ihre Hilfe und die zahlreichen Anregungen, die sie mir bei meinen Versuchen gab.

Literaturnachweis

1. K. Plodeck, Abhängigkeit der Streuzusatzstrahlung von der Strahlenhärte bei Pendelmessungen, Einleitung.
2. F. Katz, Abhängigkeit der Streuzusatzstrahlung von der Feldbreite, Einleitung.
3. A. Kohler, Monatsschrift für Krebsbekämpfung, Jahrg. 7, 1939.
4. R. du Mesnil de Rochemont, Strahlentherapie 60 : 648.
5. M. Makaidzumi und T. Miyakawa, Strahlentherapie 66 : 593.
6. R. du Mesnil de Rochemont, Strahlentherapie 66 : 593.
7. M. Bender — A Kohler, Strahlentherapie 67 (Heft 4, 1940), 669 und 692.
8. Das Hammerdosimeter: Beschreibung und Gebrauchsanweisung erhältlich durch durch PTW, Freiburg i. Br., Ludendorffstr 80.
9. M. Weber, Welche Abhängigkeit besteht bei der Pendelbestrahlung zwischen der Streuzusatzstrahlung und den Dimensionen verschiedener Körperformen? V. Meßreihe.
10. H. Spengler, Abhängigkeit der Streuzusatzstrahlung von der Pendeltiefe, Zusammenfassung 2.

Lebenslauf

Am 7. Dezember 1913 wurde ich in Nürnberg als Sohn des gef. Schutzmanns Josef Häufle geboren. Ich besuchte in Eichstätt die Volksschule, das Hum. Gymnasium zu Eichstätt und Neuburg a. D., wo ich im März 1934 die Reifeprüfung ablegte. Anschließend diente ich ein halbes Jahr beim Arbeitsdienst und ein Jahr freiwillig beim Militär. Im Wintersemester 1935/36 bezog ich die Universität München als Student der Medizin und bestand dort im Februar 1938 die ärztliche Vorprüfung. Während meiner klinischen Semester besuchte ich die Universität Berlin. An der Universität München bestand ich am 12. April 1940 die ärztliche Prüfung.